

Запропонований гібридний комутаційний апарат забезпечує бездугову комутацію, забезпечує відсутність зони комутації з дугою як при включенні, так і при вимиканні апарату; його робота не залежить від типу приводу, який забезпечує комутацію контактної системи апарату, тому він може застосовуватися як апарат керування, так і захисту. Цей апарат доцільно застосовувати у тяжких режимах експлуатації, наприклад, при частих пусках асинхронних двигунів, в умовах підвищених вимог з вибухобезпеки, пожежобезпеки.

УДК 621.316

А. Г. Сосков, докт. техн. наук

Н. О. Сабалаєва

*Харківська національна
академія міського
господарства*

І. О. Соскова, канд. техн. наук

*Українська інженерно-
педагогічна академія*

ГІБРИДНИЙ КОМУТАЦІЙНИЙ АПАРАТ ЗМІННОГО СТРУМУ

Вступ. Гібридні напівпровідникові контактори за своїми техніко-економічними показниками займають ведуче положення серед силових комутаційних напівпровідникових апаратів різного призначення. Вони поєднують позитивні якості як контактних апаратів (малі втрати потужності у ввімкненому стані), так і безконтактних (бездугова комутація кола). В цих апаратах у момент розмикання головних контактів (як при вібрації контактів, так і при відключенні контактора) вмикається силовий тиристор безконтактного керованого ключа, який шунтує головні контакти, чим забезпечується бездугова комутація кола, що в свою чергу збільшує комутаційну зносостійкість апарату при одночасному збільшенні робочого струму апарата в тяжких режимах роботи. У включеному стані апарата безконтактний керований ключ зашунтований головними контактами. Основним елементом схеми керування тиристорами є трансформатор струму. При комутації контактором струму навантаження існує зона можливого утворення дуги на головних контактах.

Метою даного дослідження є удосконалення гібридного контактору змінного струму, в якому введення нових конструктивних елементів забезпечує відсутність зони комутації з дугою при розмиканні головних контактів, дозволяє суттєво зменшити габарити комутаційного апарату, спростити схему керування силовим безконтактним ключем, знизити витрати активної потужності у цій схемі, підвищити надійність роботи апарату.

Основна частина. Відомий гібридний комутаційний апарат керування (контактор), що здійснює бездугову комутацію змінного струму, який містить головні контакти, трансформатор струму з двома вторинними півобмотками, силовий безконтактний ключ, підключений паралельно головним контактам, який містить два керованих безконтактних елемента (тиристори), підімкнених у прямому та зворотному напрямках відносно один до одного. Від вторинних обмоток трансформатора струму надходить сигнал на керуючі електроди керованих безконтактних елементів [1]. Цей контактор має достатньо широкую зону існування дугового розряду при комутації (він виникає, коли струм вторинної обмотки трансформатора струму менший за струм вмикання силового безконтактного ключа), у цьому контакторі не має захисту силового безконтактного ключа від протікання наскрізних струмів короткого

замикання при електродинамічному відкиданні контактів, через наявність трансформатора струму контактор має значні масу та габарити і підвищену трудомісткість виготовлення.

Також відомий гібридний комутаційний апарат (контактор) для бездугової комутації[2], кожний полюс якого містить головні контакти, силовий безконтактний ключ, що складається з двох зустрічно-паралельно включених тиристорів або одного симістора, трансформатора струму з магнітопроводом, первинна обмотка якого з'єднана послідовно з головними контактами, а силовий безконтактний ключ підімкнений паралельно головним контактам; кожна вторинна обмотка підімкнена через випрямляч до керуючого кола силового безконтактного ключа, що шунтує послідовне коло: головні контакти – трансформатор струму; з метою захисту керованих безконтактних елементів при короткому замиканні у головному колі у коло керування кожним керованим безконтактним елементом введено послідовне коло, що складається з джерела запираючої напруги порогового елемента та малопотужного тиристорного ключа, що керується датчиками струму і швидкості зростання струму у колі головних контактів. Цей контактор має захист при протіканні наскрізних струмів короткого замикання, інші недоліки залишились і усугубились суттєвим ускладненням схеми керування.

Найбільш близьким за технічною сутністю є гібридний комутаційний апарат (контактор) змінного струму, кожний полюс якого містить головні контакти, силовий безконтактний ключ, що складається з двох керованих безконтактних елементів, підімкнених у прямому та зворотному напрямках відносно один до одного, трансформатор струму з магнітопроводом, випрямляч та малопотужний безконтактний ключ, малопотужний транзисторний ключ, від якого через випрямляч з ємнісним фільтром приєднаний до вторинної обмотки трансформатора струму, а між його вхідними електродами підключений малопотужний безконтактний ключ, причому його керуючий електрод через стабілітрон приєднаний до виходу випрямляча, до якого підключений змінний резистор, вихідні ж електроди цього малопотужного транзисторного ключа через обмежувач резистор та запобіжник підімкнені між анодною та катодною групою діодів додатково введеного випрямного моста, при цьому кожний з катодів діодів анодної групи приєднаний до керуючих електродів силового безконтактного ключа, а кожен з анодів катодної групи приєднаний до його протилежних вихідних електродів [3].

Цей контактор має захист при протіканні наскрізних струмів короткого замикання. Однак велика кількість витків вторинної обмотки трансформатора струму, яка при великих номінальних струмах апарату (більше 160 А) становить десятки тисяч, що обмежує зверху зону номінальних струмів, при яких є доцільним використання даного апарату, додатково підвищує трудомісткість виготовлення та знижує надійність апарату. Він також має зону існування дугового розряду при комутації.

В даній роботі поставлено завдання удосконалення гібридного комутаційного апарату змінного струму, в якому введення нових конструктивних елементів та зв'язків дозволило б забезпечити бездугову комутацію кола як при включенні апарату, так і при його вимиканні, забезпечити відсутність зони можливої комутації з дугою, подачу живлення на схему керування тільки при протіканні струму через головні контакти, знизити габарити та масу, а також знизити трудомісткість виготовлення комутаційного апарату завдяки уникненню використання трансформатора струму, спростити схему керування та підвищити надійність апарату.

Поставлене завдання обумовлене тим, що у відомих гібридних комутаційних апаратах змінного струму, які містять силовий безконтактний ключ, підключений паралельно головним контактам, при короткому замиканні у мережі в момент

електродинамічного відкидання головних контактів по керованим безконтактним елементам протікає дуже великий струм, який викликає їх порушення, або він усувається за рахунок складного схемного рішення та підвищеної витрати міді в обмотках трансформатора струму. Також існує достатньо широка зона існування дугового розряду при комутації.

Поставлене завдання вирішується тим, що у гібридний апарат змінного струму [4], який містить у кожному полюсі головні контакти, паралельно яким підімкнений силовий безконтактний ключ, що складається з двох керованих безконтактних елементів, підімкнених в прямому та зворотному напрямках відносно один до одного, а також спільні для нього елементи: мостовий випрямляч з ємнісним фільтром, малопотужний транзисторний ключ та малопотужний безконтактний ключ, підімкнений паралельно входу малопотужного транзисторного ключа, у кожному його полюсі введений магніторезистивний датчик струму. Підковоподібний магнітопровід датчику струму охоплює струмопровід головного кола апарату на відрізьку, розташованому між головними контактами і точкою під'єднання силового безконтактного ключа, а у повітряний зазор магнітопроводу введений магніторезистор, вихідні же клеми апарату через обмежуючі конденсатори підімкнені до входу мостового випрямляча, а паралельно виходу випрямляча підімкнений стабілітрон. Також паралельно виходу випрямляча підімкнені через обмежуючі резистори вищезазначені магніторезистори, при цьому виходи кожного магніторезистивного датчика струму через розділяючі діоди і обмежуючий резистор підімкнені до вхідного кола малопотужного транзисторного ключа. У вихідне коло цього ключа послідовно підімкнені вхідні кола додатково введених оптронних симісторів у кількості, що дорівнює числу полюсів апарату, а вихідні кола оптронних симісторів підімкнені через резистор між керованими електродами кожного з силових безконтактних ключів. Вхід же малопотужного безконтактного ключа підімкнений через стабілітрон до спільної точки з'єднання розділяючих діодів.

Пропонований апарат відрізняється тим, що у якості датчику струму використано магніторезистивний датчик струму. У пропонованому апараті є спільні для всіх полюсів конструктивні вузли, що забезпечує зниження трудомісткості виготовлення апарату, його маси та габаритів, вартості. Також у пропонованому апараті завдяки введенню нових елементів забезпечується відсутність зони комутації з дугою при розмиканні головних контактів, а внаслідок цього підвищення надійності роботи пристрою при зменшеннях ціни та габаритів.

Введення магніторезистивного датчика струму дозволяє суттєво зменшити габарити комутаційного апарату, спростити схему керування силовим безконтактним ключем і підвищити надійність роботи. Забезпечення живлення схеми керування силовим безконтактним ключем через обмежуючі конденсатори суттєво знижує витрати активної потужності у цій схемі, тобто вирішується поставлене завдання.

Гібридний комутаційний апарат змінного струму, виконаний з використанням оптронних симісторів, показаний на рис. 1, а на рис. 2 показані осцилограми напруги на виході датчиків струму.

Гібридний комутаційний апарат змінного струму містить у кожному полюсі головні контакти 1, паралельно яким підімкнений силовий безконтактний ключ 2, що складається з двох безконтактних керованих елементів, підімкнених в прямому та зворотному напрямках відносно один до одного, мостовий випрямляч 3 з ємнісним фільтром, малопотужний транзисторний ключ 4 та малопотужний безконтактний ключ 5, підімкнений паралельно входу малопотужного транзисторного ключа 4, у кожному полюсі введений магніторезистивний датчик струму 6, підковоподібний магнітопровід якого охоплює струмопровід головного кола апарату на відрізьку, розташованому між

головними контактами 1 і точкою під'єднання силового безконтактного ключа 2, а у повітряний зазор магнітопроводу введений магніторезистор 7, вихідні же клети апарату через обмежуючі конденсатори 8 підімкнені до входу випрямляча 3, а паралельно виходу випрямляча 3 підімкнений стабілітрон 9, також паралельно виходу цього випрямляча 3 підімкнені через обмежуючі резистори 10 вищезазначені магніторезистори. При цьому виходи кожного магніторезистивного датчика струму 6 через розділяючі діоди 11 і обмежуючий резистор 12 підімкнені до вхідного кола малопотужного транзисторного ключа 4, у вихідне коло якого послідовно підімкнені вхідні кола додатково введених оптронних симісторів 13 у кількості, що дорівнює числу полюсів апарату, а вихідні кола оптронних симісторів підімкнені через резистор 14 між керованими електродами кожного з силових безконтактних ключів 2, вхід же малопотужного безконтактного ключа 5 підімкнений через стабілітрон 15 до спільної точки з'єднання розділяючих діодів 11.

На рис. 1 в якості безконтактних керованих елементів застосовуються тиристори, а в якості малопотужного безконтактного ключа – малопотужний транзистор. Причому елементи апарату 1 та 2 утворюють головне силове коло апарату, а елементи 3 – 15 – схему керування силовим безконтактним ключем.

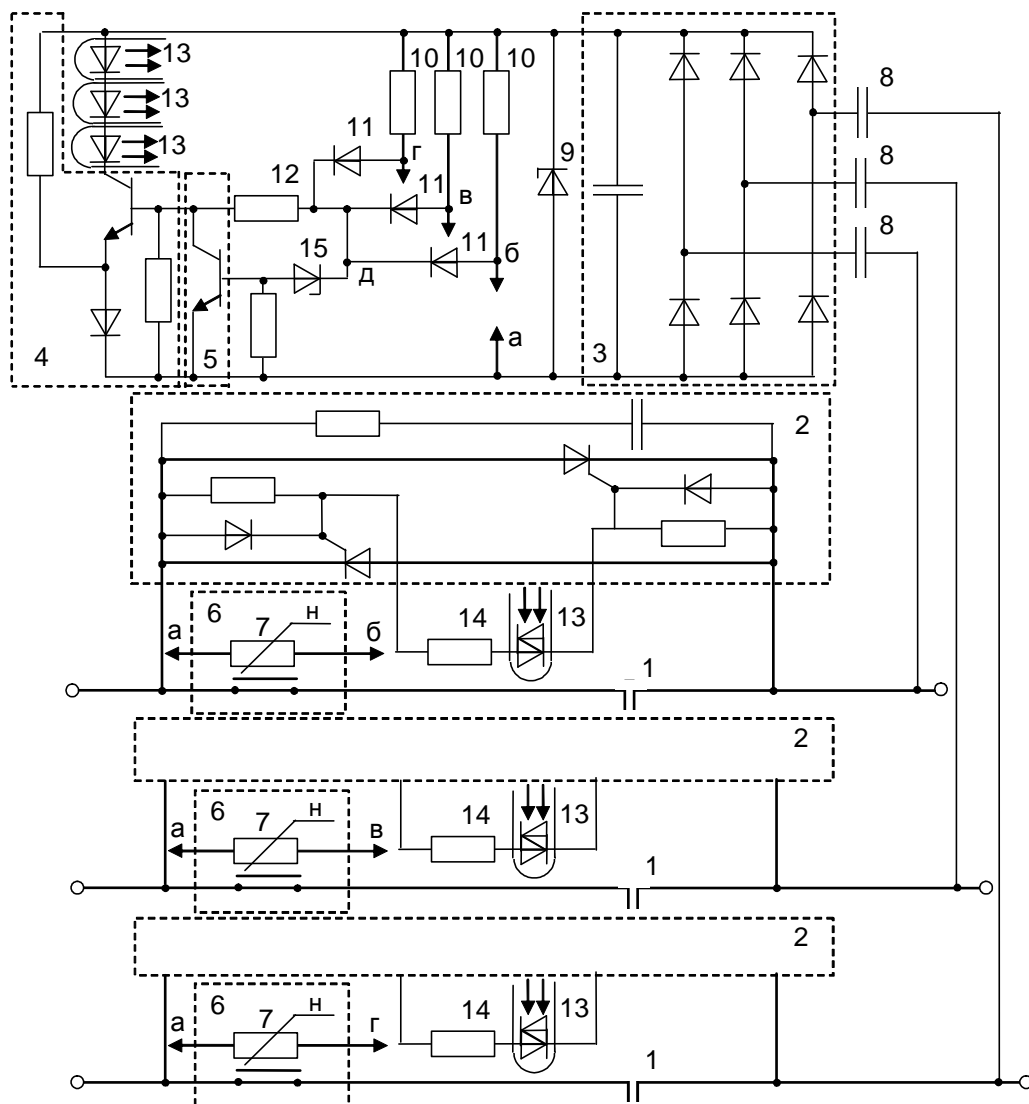


Рис. 1. Гібридний комутаційний апарат змінного струму

У відключеному стані апарату головні контакти 1 розімкнені, на схему керування силовим безконтактним ключем живлення не подається. Силовий безконтактний ключ у цей час знаходиться під впливом фазної напруги мережі.

При включенні апарату при замиканні головних контактів 1 напруга живлення подається на схему керування через обмежуючі конденсатори 8, чим забезпечується живлення схеми керування силовим безконтактним ключем 2, причому наявність обмежуючих конденсаторів 8 забезпечує низький рівень споживаної активної потужності, що споживається схемою керування. При виникненні струму у головному колі в зазорі підковоподібного магнітопровода виникає магнітний потік, що призводить до зростання опору магніторезистора 7. Напруги на кожному з магніторезисторів у найбільш розповсюдженішому (триполюсному) виконанні апарату будуть зсунуті на кут $2\pi/3$ за фазою, тому форма напруги між точками а і д ($U_{ад}$) буде мати вигляд, як показано на рис. 2. Цієї напруги достатньо для включення малопотужного транзисторного ключа 4, навіть при струмах суттєво нижчих за номінальний струм апарату, у зв'язку з різкою залежністю опору магніторезистора від магнітної індукції поля. Причому опір магніторезистора обирають таким, що при протіканні струмів, за яких має місце електродинамічне відкидання контактів, величина напруги $U_{ад}$ (осцилограма 1 на рис. 2) перевищує поріг спрацьовування малопотужного безконтактного ключа 5, що шунтує вхід малопотужного транзисторного ключа 4, а при комутації неаварійних робочих струмів напруги $U_{ад}$ (осцилограма 2 на рис. 2) завжди достатньо для включення малопотужного транзисторного ключа 4, причому струм у його колі є достатнім для створення необхідного струму керування оптронними симісторами 13. Оскільки падіння напруги на замкнених головних контактах у режимі робочих струмів не перевищує 0,5 В, то його буде недостатньо для включення силового безконтактного ключа 2 навіть при наявності достатнього за величиною струму у вхідному колі оптронних симісторів.

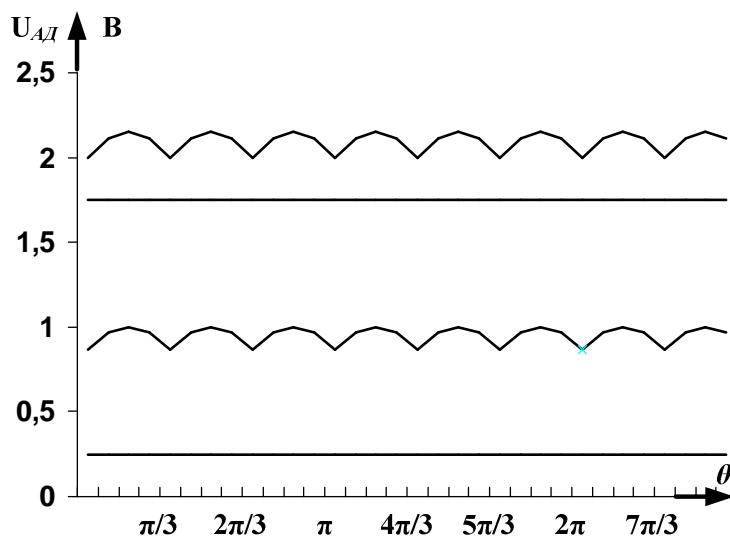


Рис. 2. Осцилограми напруги на виході датчиків струму

При відключенні апарату при розмиканні головних контактів 1 відбувається різке зростання падіння напруги на них, під дією якого через резистор 14 і оптронний симістор 13 відбувається включення тиристора силового безконтактного ключа 2, провідність якого відповідає напрямку струму у колі головних контактів 1. Струм з кола головних контактів 1 та магніторезистивного датчика струму 6 переходить у коло

силового безконтактного ключа 2. При повному перетіканні струму з кола головних контактів 1 напруга на виході датчика струму 6 знижується нижче порогу спрацьовування малопотужного транзисторного ключа 4 (осцилограма 3 на рис. 2) і схема керування силовим безконтактним ключем знеструмлюється.

Максимальне пряме падіння напруги на відкритому силовому безконтактному ключі 2 не більше 1,5 – 2,0 В, що є недостатнім для виникнення дуги на головних контактах 1. Слід зазначити, що в момент переходу струму з кола головних контактів через наявність індуктивності у контурі комутації (головні контакти разом з силовим безконтактним ключем) виникає коротка дуга, однак цей процес через мале значення вказаної індуктивності протікає кілька десятків мікросекунд і тому не завдає суттєвого впливу на комутаційну зносостійкість головних контактів. Повне відключення комутуємого кола відбувається при переході через нуль струму в тиристорі силового безконтактного ключа 2. При цьому також переривається подача живлення через обмежуючі конденсатори 8 на схему керування силовим безконтактним ключем 2.

Силовий безконтактний ключ 2 шунтує головні контакти 1 не тільки при їх розмиканні, але й при вібраціях у момент вмикання апарату.

При протіканні наскрізних струмів короткого замикання, коли є можливим електродинамічне відкидання контактів, величина напруги $U_{ад}$ вже стає достатньою для пробоя стабілітрона 15, що вмикає малопотужний безконтактний ключ 5, через що малопотужний транзисторний ключ 4 вимикається (він шунтується малопотужним безконтактним ключем 5 за входом) і силовий безконтактний ключ 2 не вмикається, тобто не зазнає порушень у разі протіканні наскрізних струмів короткого замикання, що перевищують рівень припустимих короточасних струмів керованих безконтактних елементів цього ключа.

Пропонований гібридний комутаційний апарат змінного струму має підвищений термін служби та підвищену надійність роботи при зменшених габаритах та вартості за рахунок того, що у відключеному стані апарату схема керування знеструмлена, уникненню використання трансформатора, що забезпечує підвищення технологічності виробництва апарату, зменшення кількості конструктивних вузлів, спрощення схеми керування безконтактними елементами силового безконтактного ключа 2.

Висновки.

В порівнянні з існуючими гібридними контакторами змінного струму пропонований гібридний комутаційний апарат забезпечує відсутність зони комутації з дугою як при включенні, так і при вимиканні апарату, його робота не залежить від типу приводу, який забезпечує комутацію контактної системи апарату, тому він може застосовуватися як апарат керування, так і захисту. В порівнянні з існуючими апаратами цього типу за рахунок запропонованих схемних рішень та економного режиму роботи комплектуючих у нього зменшені габарити і ціна та підвищена надійність його роботи. Цей апарат доцільно застосовувати у тяжких режимах експлуатації, наприклад при частих пусках асинхронних двигунів, в умовах підвищених вимог з вибухобезпеки, пожежобезпеки і т.ін.

Література

1. Сосков А.Г., Соскова И.А. Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита. – К.: Каравелла, 2005. – 344 с, с. 40.
2. Авторское свидетельство СССР № 335728, кл. Н 01 Н 9/30, Б.И. № 13, 1969.
3. Патент на корисну модель № 22023, Н 01 Н 9/30, Н 01 Н 9/54, Бюл. № 4, 2007.
4. Гібридний комутаційний апарат змінного струму. Патент України на корисну модель № 30660, Н 01 Н 9/30, Н 01 Н 9/54, Бюл. № 5, 2008.

ГИБРИДНЫЙ КОММУТАЦИОННЫЙ АППАРАТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А.Г. Сосков, Н.О. Сабалаева, И.А.Соскова

Предложенный коммутационный аппарат переменного тока обеспечивает бездуговую коммутацию, обеспечивает отсутствие зоны возможной коммутации с дугой, как при включении аппарата, так и при его отключении; его работа не зависит от типа привода, который обеспечивает коммутацию контактной системы аппарата, поэтому он может применяться как аппарат управления, так и защиты. Этот аппарат целесообразно применять в тяжелых условиях эксплуатации, например, при частых пусках асинхронных двигателей, в условиях повышенных требований по взрывобезопасности и пожаробезопасности.

AC HYBRID COMMUTATION APPARATUS

A.G. Soskov, N.O. Sabalaeva, I.O. Soskova

Proposed AC hybrid commutation apparatus is provide for arcless commutation during its breaking-in and breaking-off, its functioning is independent of type of drive which provide of contact system of apparatus, that is why it may be used as direction apparatus and protection apparatus. The expedient use of this apparatus is hard usage, for example, frequent starting of asynchronous motors, in conditions with increased requirements of fire safety and explosion-proof.